

ÉTUDE DE L'ÉLARGISSEMENT SPECTRAL D'UNE DIODE LASER SOUMISE A UN RETOUR OPTIQUE SELECTIF EN FREQUENCE ISSU D'UN FBG

M. W. Lee¹, F. Baladi^{1,2}, M. Morali¹, A. Boudrioua¹, J.-R. Burie², M. Bettiati² et A. Fischer¹

¹ Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, Laboratoire de Physique de Lasers CNRS UMR 7538
99, avenue Jean-Baptiste Clément 93430 Villetaneuse, France

² 3S PHOTONICS, Route de Villejust, 91625 Nozay, France

min.lee@univ-paris13.fr

1. RÉSUMÉ

Cette étude est consacrée à l'élargissement spectral d'une diode laser soumise à un retour optique sélectif en fréquence provenant d'un réseau photo-inscrit dans une fibre. Le comportement dynamique du système est étudié par l'analyse spectrale des fluctuations de signaux optiques acquis par une photodiode rapide dans la gamme hyperfréquence. Les spectres RF de la diode laser sont ainsi mesurés en fonction du courant de laser et du taux de retour optique. Une carte de l'élargissement spectral à -3 dB est établie en fonction du courant d'électrode du laser et du taux de retour optique.

MOTS-CLEFS : *diode laser, retour optique, largeur spectrale*

2. INTRODUCTION

Le comportement dynamique des diodes lasers soumises à un retour optique a fait l'objet de nombreuses études depuis des décennies [1–3]. Il existe une grande variété de comportements parmi lesquels le régime de perte de cohérence appelé 'coherence collapse' [3]. Les études portent aussi bien sur des aspects fondamentaux que sur les applications notamment dans le domaine des télécommunications optiques et des systèmes pour les télécommunications à longue distance. Dans ce contexte, les amplificateurs optiques de type EDFA (Erbium-doped fibre amplifier) sont un des composants clés. Les modules de pompes des EDFAs sont constitués d'une diode laser à 980 nm fibrée soumise à un retour optique provenant d'un réseau de Bragg photo-inscrit dans la fibre (Fibre Bragg Grating FBG). Le fonctionnement recherché pour un tel système est le régime de perte de cohérence afin de produire un spectre d'émission large favorable à de large bande passante pour les liaisons longue distance. A noter que le profil spectral du FBG est limité en longueur d'onde, ce qui produit un retour optique sélectif en fréquence. Les études sur les retours optiques sélectif en fréquence sont peu nombreuses [4], et notamment celles basées sur l'utilisation d'un FBG [5] ou celle visant à quantifier l'élargissement spectral au voisinage du régime de perte de cohérence.

Nous proposons ici une étude fondamentale consacrée à l'élargissement spectral d'une diode laser à 974 nm soumise à un retour optique sélectif en fréquence provenant d'un FBG. Il s'agit d'étudier les mécanismes de l'élargissement spectral plutôt que le comportement d'un système commercial. La mesure consiste en une analyse spectrale dans la gamme hyperfréquence des signaux électriques issus de la conversion des variations de l'intensité lumineuse de la diode laser par un photo-détecteur rapide. Ces mesures de RIN (Relative Intensity Noise) donnent accès à l'élargissement spectral en fonction du courant d'électrode du laser et du taux de retour optique.

3. MISE EN ŒUVRE EXPERIMENTALE

La figure 1 présente le schéma expérimental. La diode laser utilisée dans ce travail est une diode laser à 974 nm (3S PHOTONICS) avec une puissance de 800mW. L'émission du laser est injectée dans un FBG à travers un atténuateur optique variable (VOA1). Une partie de l'émission du laser est réfléchié par le FBG (3S PHOTONICS) et réinjectée dans la diode laser. Le VOA1 permet d'ajuster le taux de retour optique γ vers la diode laser. La sortie du FBG est couplée à un isolateur optique afin d'éviter les réflexions parasites. La sortie de l'isolateur est connectée à un deuxième

atténuateur optique variable (VOA2) puis à un coupleur 50/50 fin de contrôler la puissance lumineuse incidente sur les deux photo-détecteurs PD1 (12 GHz) et PD2 (5 GHz) afin d'éviter toute saturation. PD1 et PD2 convertissent les signaux optiques en signaux électriques qui sont ensuite analysés par un analyseur de spectre hyperfréquence de 8 GHz de bande passante. Les signaux temporels sont acquis par un oscilloscope numérique de 2,5 GHz de bande passante 20Gech/s. Le banc de mesure est piloté par un PC afin de faire varier le courant d'électrode et le taux de retour optique de façon automatique.

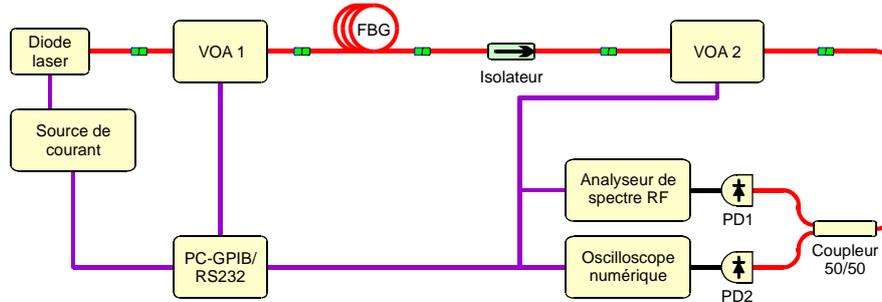


Fig. 1 : Schéma expérimental. VOA : Atténuateur optique variable. FBG : Réseau de Bragg fibré. PD : Photo-détecteur.

4. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Dans un premier temps, nous avons calibré le taux de retour optique γ du système en utilisant le FBG et le VOA1. Le FBG utilisé dans ce travail a un taux de réflexion de 15 %. Le VOA1 introduit au total une perte aller-retour de 3,6 dB ce qui limite le taux de retour optique γ maximal vers la diode laser à 6,5%. Le VOA1 permet de régler le taux de retour γ entre 0,5 % et 6,5 % par pas de 0.1 %. La figure 2(a) est un spectre RIN obtenu pour 1,5% et à 500 mA qui présente un spectre large s'étalant au-delà de 8 GHz, ce qui signifie une dynamique riche avec l'excitation de l'oscillation de relaxation et de ses harmoniques. Ce régime de la perte de cohérence est confirmé par l'observation à l'analyseur de spectre optique (régime IV de Tkach [3]). La figure 2(b) permet de représenter sous la forme d'une carte, l'évolution du spectre lorsque le courant d'électrode du laser varie entre 50 mA et 500 mA. Le code couleur est un 3^{ème} axe qui représente la puissance RF en dBm. La zone rouge indique une puissance élevée qui correspond au pic des oscillations de relaxation. Nous pouvons remarquer que la zone rouge se déplace vers les hautes fréquences lorsque le courant d'électrode augmente indiquant l'évolution de la fréquence des oscillations de relaxation en fonction du courant. Avec l'augmentation du courant, la puissance se répartit sur l'ensemble sur le spectre ce qui traduit l'élargissement de ce dernier.

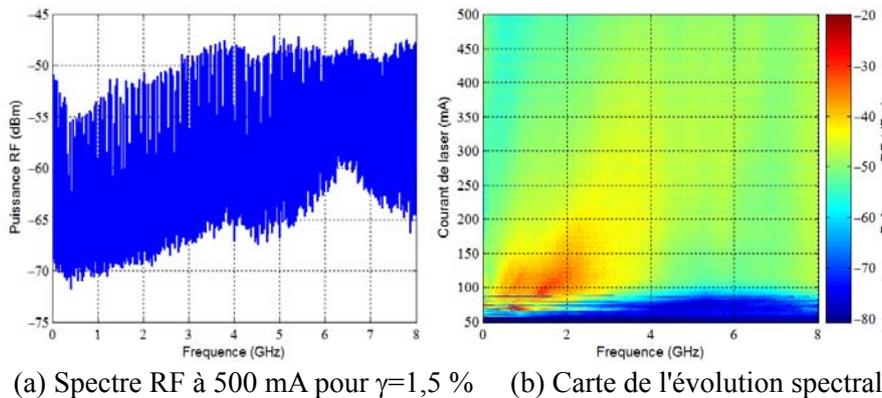


Fig. 2 : Spectres RF en fonction de courant de 50 mA à 500 mA avec un taux de retour optique de 1,5 %.

Afin de quantifier plus précisément l'élargissement spectral, nous avons mesuré la largeur spectrale à mi-hauteur du maximum (FWHM) de chaque spectre RIN pour chacun des taux de retour optique γ compris entre 0,5 % et 6,5% avec un pas de 0,5% et pour les courants compris entre 50A et 500mA par pas de 5 mA. Chacune de ces largeurs de raie est codée en couleur et est placée dans l'espace (γ, I) ce qui permet de tracer une carte de l'élargissement spectral (voir fig. 3). Le seuil laser est clairement représenté par un changement de couleur soudain entre 50 et 60 mA. À faible courant, le bleu domine, ce qui indique une largeur de raie inférieure à 1 GHz. Cette zone bleue correspond à la présence de fluctuations basse fréquence (Low frequency fluctuation basse fréquence) [6]. Cette carte montre clairement que le spectre s'élargit à la fois avec le courant I mais aussi avec le taux de retour optique γ . Le rouge foncé représente une largeur de raie à mi-hauteur de 8 GHz qui est la limite de l'analyseur de spectre RF. Des expériences complémentaires de cet élargissement spectral mesuré avec un OSA seront présentées ultérieurement.

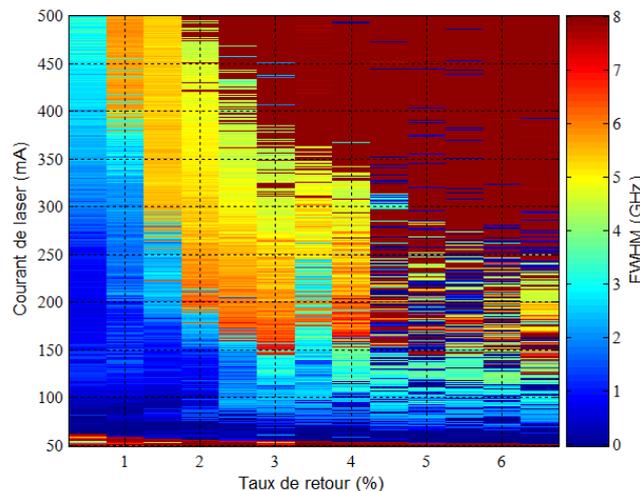


Fig. 3 : Cartographie de l'élargissement spectral RF en fonction du courant et du taux de retour optique.

5. CONCLUSION

Nous avons étudié l'élargissement spectral d'une diode laser soumise à un retour optique sélectif en fréquence issu d'un réseau de Bragg photo-inscrit dans une fibre. Nous avons démontré que le spectre RF s'élargit lorsque le courant d'électrode du laser et le taux de retour optique augmentent.

6. REFERENCES

- [1] D. Lenstra, B. H. Verbeek, A. J. Denboef, "Coherence collapse in single-mode semiconductor lasers due to optical feedback", IEEE OF Qantum Electronics., vol. Q-21, 1985.
- [2] J. Ohtsubo, "Semiconductor lasers", Springer Verlag, 2012.
- [3] R. Tkach, W. Chraplyvy, "Regimes of feedback effects in 1.5 μ m distributed feedback lasers", J. Lightwave Technol., vol. LT-4, 1986.
- [4] H. Erzgräber, D. Lenstra, B. Krauskopf, A. P. A. Fischer, G. Vemuri, "Feedback phase sensitivity of a semiconductor laser subject to filtered optical feedback : experiment and theory", Phys. Rev. Lett., vol. 92, 2004.
- [5] R. Badii, N. Matuschek, T. Pliska, J. Troger, B. Schmidt, "Dynamics of multimode diode lasers with strong, frequency selective optical feedback", Phys. Rev. E., vol. 68, 2003.
- [6] F. Baladi, M.-W. Lee, J.-R. Burie, M. A. Bettiati, A. P.A. Fischer, and A. Boudrioua, "Map of the Low Frequency Fluctuations in a high-power Diode Laser submitted to a Filtered Optical Feedback from a Fiber Bragg Grating", International Symposium on Physics and Applications of Laser Dynamics 2013 Télécom ParisTech, Paris (France), 29 - 31 October 2013